

УДК 669.14.018.44:539.89

**К. А. Козлов<sup>1\*</sup>, В. В. Сагарадзе<sup>1</sup>, Н. В. Катаева<sup>1</sup>,  
С. В. Афанасьев<sup>1</sup>, В. А. Шабашов<sup>1</sup>, И. И. Чернов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>2</sup> МИФИ, г. Москва

\*kozlov@imp.uran.ru

## ПОЛУЧЕНИЕ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОГО ЖЕЛЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ОКИСЛЕНИЯ

В результате механического легирования кислородом вследствие растворения поверхностных окислов при обработке в мельнице предварительно-окисленного порошка железа были получены объемные образцы железа, содержащие упрочняющие оксиды  $\text{Fe}_x\text{O}$  размером 2,5 нм. Показано, что образцы ДУО-железа обладают повышенными прочностными характеристиками ( $\sigma_{0,2} \sim 570$  МПа,  $\sigma_B \sim 632$  МПа).

*Ключевые слова:* механическое легирование, структура, оксиды, деформация, электронная микроскопия, мессбауэровская спектроскопия, свойства.

**K. A. Kozlov, V. V. Sagaradze, N. V. Kataeva, S. V. Afanasiev,  
V. A. Shabashov, I. I. Chernov**

## MANUFACTURING OF DISPERSION- STRENGTHENED IRON WITH PRELIMINARY SURFACE OXIDATION

As a result of mechanical alloying with oxygen in consequence of surface oxides dissolution during processing of pre-oxidized iron powder in the mill, bulk iron samples containing  $\text{Fe}_x\text{O}$  strengthening oxides of 2.5 nm size were obtained. It is shown that the samples of ODS-iron have increased strength characteristics ( $\sigma_{0,2} \sim 570$  MPa,  $\sigma_B \sim 632$  MPa).

*Key words:* mechanical alloying, structure, oxides, deformation, electron microscopy, Mössbauer spectroscopy, properties.

**В** современном машиностроении требуются дешевые высокопрочные стали без дополнительных легирующих элементов. Повышение прочностных характеристик таких сталей можно обеспечить с помощью холодной или теплой пластической деформации. Однако деформацию не всегда можно выполнить при производстве изделий сложной формы. Поэтому одним из перспективных методов упрочнения железа и нелегированных сталей является дисперсное упрочнение оксидами (ДУО), в том числе наноксидами железа. Повышенная прочность и жаропрочность этих сталей связана с высокой термической устойчивостью упрочняющих оксидов, которые (в отличие от карбидов, нитридов и интерметаллидов) не растворяются даже при нагреве до предплавления температур.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности получения объемных образцов железа, упрочненного наноксидами  $\text{Fe}_x\text{O}$ , с использованием кислорода воздуха в качестве легирующего элемента.

С помощью мессбауэровских измерений показано, что механическая обработка в течение 10 часов в шаровой мельнице предварительно окисленного (до образования 15 %  $\text{Fe}_{3-y}\text{O}_4$ ) порошка железа вызывает растворение окисной пленки. При последующем высокотемпературном отжиге—спекании происходит выделение вторичных наноксидов  $\text{Fe}_x\text{O}$ . В результате механического легирования спарк-спекания (при 1000 °С и напряжении 80 МПа), холодной прокатки с обжатию 88 % и рекристаллизационного отжига при 1100 °С (0,5 ч) получены объемные образцы железа, содержащие упрочняющие оксиды  $\text{FeO}$  размером 2,5 нм. В отсутствие каких либо легирующих элементов, за исключением кислорода воздуха, получены повышенные прочностные характеристики в рекристаллизованных образцах ДУО-железа ( $\sigma_{0,2} \sim 570$  МПа,  $\sigma_B \sim 632$  МПа).

*Работа выполнена по темам «Структура»,  
№ АААА-А18–118020190116–6, при частичной поддержке РФФИ  
№ 18–03–00216. Электронно-микроскопические исследования  
проведены в ОЭМ ЦКП ИФМ УрО РАН.*